

# Inhaltsverzeichnis

<b>Liste der Formelzeichen .....</b>	<b>XV</b>
<b>1 Grundlagen der Technischen Thermodynamik.....</b>	<b>1</b>
1.1 Gegenstand und Untersuchungsmethodik .....	1
1.2 Thermodynamisches System .....	4
1.3 Austausch zwischen System und Umgebung .....	5
1.4 Thermische Zustandsgrößen; Thermische Zustandsgleichungen .....	9
1.5 Thermodynamische Zustandsänderungen.....	14
1.6. Anwendbarkeit von Differentialquotienten der Zustandsgrößen.....	17
1.7 Reversible und irreversible Zustandsänderungen .....	19
1.8 Formen der Energieübertragung zwischen System und Umgebung .....	21
1.8.1 Volumenänderungsarbeit.....	21
1.8.2 Druckänderungsarbeit .....	28
1.8.3 Wärme .....	33
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 1 .....	37
Anwendbarkeit von Differentialquotienten der Zustandsgrößen.....	37
Reversible und irreversible Zustandsänderungen.....	44
Volumenänderungs- und Druckänderungsarbeit .....	50
<b>2 Energiebilanz: Der erste Hauptsatz der Thermodynamik.....</b>	<b>61</b>
2.1 Einführung; Erläuterung .....	61
2.2 Energiebilanz für Zustandsänderungen in geschlossenen Systemen; Innere Energie .....	64
2.2.1 Innere Energie .....	66
2.3 Energiebilanz für Zustandsänderungen in offenen Systemen (stationäre Prozesse); Enthalpie.....	70
2.3.1 Enthalpie.....	73
2.3.2 Gegenüberstellung der inneren Energie und der Enthalpie .....	75
2.4 Energiebilanz auf Basis der Enthalpie für Zustandsänderungen in geschlossenen und in offenen Systemen .....	76

2.5 Anwendung des Ersten Hauptsatzes in elementaren Prozessen .....	78
2.5.1 Elementare Prozesse in geschlossenen Systemen.....	79
2.5.2. Elementare Prozesse in offenen Systemen .....	81
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 2 .....	87
Energiebilanz, Innere Energie, Enthalpie .....	87
<b>3 Arbeitsmedien: Gase und Gasgemische.....</b>	<b>97</b>
3.1 Ideale und reale Gase.....	97
3.1.1 Thermische Zustandsgleichung für ideale Gase .....	97
3.1.2 Universelle (allgemeine; molare) Gaskonstante .....	99
3.1.3 Molar-spezifische Größen .....	102
3.1.4 Normkubikmeter.....	103
3.1.5 Reale Gase .....	104
3.2 Spezifische Wärmekapazität der idealen Gase .....	105
3.2.1 Gesetz der inneren Energie bei idealen Gasen (Joule) .....	105
3.2.2 Formen der spezifischen Wärmekapazität.....	107
3.2.3 Zusammenhang der spezifischen Wärmekapazität bei konstanten Volumen und bei konstanten Druck.....	112
3.3 Das ideale Gasgemisch.....	114
3.3.1 Die Gaskonstante eines Gasgemisches.....	115
3.3.2 Molare Masse, Dichte, Zusammenhänge der Massen- und Volumenanteile .....	118
3.3.3 Innere Energie, Enthalpie und spezifische Wärmekapazität eines Gasgemisches.....	121
3.4 Elementare Zustandsänderungen in gasförmigen Arbeitsmedien .....	124
3.4.1 Isochore Zustandsänderung ( $V = \text{konst.}$ ).....	124
3.4.2 Isobare Zustandsänderung ( $p = \text{konst.}$ ).....	128
3.4.3 Isotherme Zustandsänderung ( $T = \text{konst.}$ ).....	132
3.4.4 Adiabate Zustandsänderung ( $pV^k = \text{konst.}$ ).....	135
3.4.5. Polytrope Zustandsänderung ( $pV^n = \text{konst.}$ ).....	141
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 3 .....	149
Zustandsänderungen in Gasen und Gasgemischen.....	149
<b>4 Energieumwandlung: Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik.....</b>	<b>175</b>
4.1. Formulierungen .....	175
4.2. Thermischer Wirkungsgrad .....	178
4.3 Entropie reversibler (idealer) Prozesse .....	180
4.4 Entropie irreversibler (natürlicher) Prozesse .....	190
4.5 Berechnung der Entropie .....	195

4.6 Darstellungsformen von Prozessen mittels Entropie: (T,s), (U,s), (h,s) - Diagramme .....	198
4.6.1 T,s-Diagramme (Wärmediagramme).....	198
4.6.2 Elementare, reversible Zustandsänderungen im T,s-Diagramm .....	202
4.6.3 u,s- und h,s-Diagramme.....	207
4.7 Exergie und Anergie .....	209
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 4 .....	211
Berechnung der Entropie in thermodynamischen Vorgängen.....	211
<b>5 Prozesse in thermischen Maschinen für Kraftfahrzeuge .....</b>	<b>223</b>
5.1 Kreisprozesse in Wärmekraftmaschinen .....	223
5.1.1 Rechtslaufende Kreisprozesse .....	223
5.1.2 Kreisprozesse in Wärmekraftmaschinen mit sukzessiven Zustandsänderungen .....	225
5.1.3 Kreisprozesse in Wärmekraftmaschinen mit simultanen Zustandsänderungen .....	242
5.2. Kreisprozesse in Klimaanlage und Wärmepumpen .....	249
5.2.1 Linkslaufende Kreisprozesse .....	249
5.2.2 Kreisprozesse in Kältemaschinen .....	250
5.2.3 Kreisprozesse in Wärmepumpen (Heizanlagen) .....	257
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 5 .....	259
Kreisprozesse in Wärmekraftmaschinen .....	259
<b>6 Arbeitsmedien: Dämpfe und Gas-Dampf-Gemische .....</b>	<b>289</b>
6.1 Phasen und Komponenten eines Dampfes.....	289
6.2 Diagrammdarstellungen der Zustands- und energetischen Größen eines Dampfes .....	293
6.3 Kreisprozesse mit Dampf in der Kraftfahrzeugtechnik .....	301
6.3.1 Rechtslaufende Kreisprozesse mit Dampf in Kraftanlagen .....	301
6.3.2 Linkslaufende Kreisprozesse mit Dampf in Klimaanlagen .....	303
6.3.3 Linkslaufende Kreisprozesse mit Dampf in Wärmepumpenanlagen .....	305
6.3.4 Drosselung von Nassdampf.....	306
6.4 Gas-Dampf-Gemische .....	308
6.4.1 Kenngrößen der Gas-Dampf-Gemische .....	308
6.4.2 Kenngrößen der Gas-Dampf-Gemische in Diagrammform .....	317
6.4.3 Zustandsänderungen der feuchten Luft in der Kraftfahrzeugtechnik .....	320

Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 6 .....	331
Dampf und Gas-Dampf-Gemische .....	331
<b>7 Verbrennung .....</b>	<b>343</b>
7.1 Kraftstoffe.....	343
7.2 Kraftstoff-Luft-Gemische .....	350
7.3 Heizwerte.....	352
7.4 Verbrennungsrechnung.....	361
7.4.1 Verfahren zur Verbrennungsrechnung .....	361
7.4.2 Stöchiometrischer Luftbedarf.....	365
7.4.3 Zusammensetzung der Abgaskomponenten bei vollständiger Verbrennung .....	366
7.4.4 Zusammensetzung der Abgaskomponenten bei unvollständiger Verbrennung .....	370
7.5 Ablauf der Verbrennungsreaktionen.....	376
7.6 Verbrennungsformen in Otto- und Dieselmotoren .....	384
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 7.....	395
Verbrennung.....	395
<b>8 Wärmeübertragung .....</b>	<b>407</b>
8.1 Arten der Wärmeübertragung.....	407
8.2 Die Wärmeleitung.....	410
8.2.1 Elementares Modell der Wärmeleitung .....	410
8.2.2 Wärmeleitung durch eine ebene Wand.....	413
8.2.3 Wärmeleitung durch Rohrwände.....	416
8.3 Der Wärmeübergang (die Konvektion) .....	419
8.3.1 Elementare Modelle der Konvektion.....	419
8.3.2 Grundlagen der Ähnlichkeitstheorie im Bezug auf die Konvektion.....	425
8.3.3 Wärmetauscher .....	432
8.4 Die Wärmestrahlung.....	434
8.4.1 Elementare Modelle der Wärmestrahlung .....	434
8.4.2 Wärmeübertragung durch Strahlung zwischen Körperoberflächen.....	443
Anwendungsbeispiele und Übungen zu Kapitel 8 .....	445
Wärmeleitung .....	445
<b>9 Messung thermodynamischer Größen.....</b>	<b>457</b>
9.1 Thermodynamische Messgrößen in der Kraftfahrzeugtechnik.....	457
9.1.1 Arbeitsmedium .....	457
9.1.2 Verhalten des Arbeitsmediums in thermodynamischen Prozessen.....	459

9.2 Messung von Zustandsgrößen in Arbeitsmedien.....	460
9.2.2 Temperaturmessung.....	464
9.2.3 Feuchtemessung .....	467
9.2.4 Wegmessung.....	468
9.3 Ermittlung von Zustandsänderungen.....	470
<b>Literatur .....</b>	<b>473</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>475</b>
<b>Verzeichnis angeführter Thermodynamiker.....</b>	<b>481</b>